



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

EKONOMICKÁ A EKOLOGICKÁ HLEDISKA ROZHODOVÁNÍ PŘI POUŽITÍ RECYKLOVANÉHO KAMENIVA DO POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

THE USAGE OF THE RECYCLED AGGREGATES TO ROADS FROM THE POINT OF VIEW OF
ECONOMICAL AND ECOLOGICAL CONCEPTION

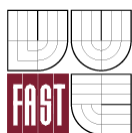
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DUŠAN TRÁVNÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Dušan Trávníček

Název Ekonomická a ekologická hlediska rozhodování při použití recyklovaného kameniva do pozemních komunikací

Vedoucí bakalářské práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2011

Datum odevzdání bakalářské práce 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Výzkumné zprávy z let 2000 až 2011

internetové odkazy na www.stranky s informacemi o srovnání a využití přírodního a recyklovaného kameniva

sborníky zahraničních konferencí s popisem použití recyklovaného kameniva

zkušenosti firem používajících jak přírodní tak recyklované kamenivo

Zásady pro vypracování

Základem práce je zpracování řešerše zaměřené na sledování ekonomických a ekologických hledisek využití recyklátů. Cílem je porovnávací řešerše českých a zahraničních zkušeností s využíváním recyklátů jako náhrady za přírodní kamenivo. Prakticky bude práce doplněna konkrétními nebo modelovými příklady ekonomických (příp. ekologických) úvah srovnání obou materiálů.

Předepsané přílohy

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Teoretická část
4. Praktická část
5. Zhodnocení práce
6. Závěr
7. Literatura

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá rozhodováním při použití recyklovaného a přírodního kameniva do pozemních komunikací. Jedná se o rešerši, kde se zabývám způsoby recyklace a jejich ekonomickým a ekologickým přínosem společnosti. Praktická část potom využívá tyto informace k podání reálných výsledků.

Klíčová slova

Pozemní komunikace, recyklát, recyklace, konstrukční vrstvy, asfaltové vrstvy, podkladní vrstvy, obalovna, ekonomika, ekologie, asfaltový beton, technologické podmínky, úspora

Abstract

This bachelor thesis is based on decision making process connected with the usages of recycled and natural aggregates in a road construction. In the research I deal with the ways of recycling and their economic and environmental benefits for society. The practical part then uses this information to bring the real results.

Keywords

Road construction, recycled, recycling, structural layers, asphalt layers, base layers, coating plant, economics, ecology, asphalt concrete, technological conditions, saving

Bibliografická citace VŠKP

TRÁVNÍČEK, Dušan. *Ekonomická a ekologická hlediska rozhodování při použití recyklovaného kameniva do pozemních komunikací*. Brno, 2012. 51 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 18.5.2012

.....
Dušan Trávníček

Poděkování

Na tomto místě chci poděkovat Ing. Dušanu Stehlíkovi, Ph.D., vedoucímu práce, za odborné vedení, připomínky a informace. Své rodině a blízkým za podporu, která se mi dostávala po celou dobu mého studia.

Obsah

Obsah	8
Úvod	10
Cíl práce	11
1 Význam surovin	12
1.1 Použití kameniva	12
1.2 Kamenivo – předpoklady do budoucna.....	13
1.3 Spotřeba na evropské úrovni	13
1.4 Stavebnictví	14
1.5 Produkce kameniva	14
1.6 Ekologické hledisko	15
1.7 Environmentální daně	16
1.7.1 Daně v různých státech	17
1.7.2 Daň ve Velké Británii	18
2 Recyklace.....	19
2.1 Stupeň recyklace	20
2.2 Recyklovaná kameniva v Evropě	21
3 Možnosti recyklace u novostaveb.....	22
3.1 Asfaltové vrstvy:	22
3.1.1 Dávkování přímo do míchačky šaržové obalovny	22
3.1.2 Předehřívání R-materiálu v paralelním bubnu.....	23
3.1.3 Kontinuální obalovna, Metoda Drum-Mix	24
3.2 Recyklace ve směsích typu SMA.....	26
3.3 Podkladní vrstvy	27
3.3.1 Obecné užití recyklátů v pozemních komunikacích	28
3.3.2 Užití RSM do nestmelených vrstev	29
3.3.3 Výroba recyklátů	29

3.3.4	Požadavky na materiál	30
4	Možnosti recyklace při opravách	31
4.1	Recyklace asfaltových vrstev na místě za horka	31
4.1.1	Reshape	32
4.1.2	Repave	33
4.1.3	Remix	34
4.1.4	Remix plus	34
4.2	Recyklace asfaltových vrstev na místě za studena	35
4.2.1	Celková (hloubková) recyklace	36
4.2.2	Částečná recyklace	36
4.3	Za studena, nebo za horka?	37
5	Cenová analýza	39
5.1	Označování v TP 170	39
5.2	Výpočet v programu MS Excel	40
5.3	Ukázka na vybraných typech vozovek	43
5.3.1	D1-N-1 TDZ III	43
5.3.2	D1-N-3 TDZ IV	44
5.3.3	D2-N-3 TDZ O	45
6	Zhodnocení práce	46
7	Závěr	47
8	Použitá literatura	48
	Použité termíny	49
	Použité zkratky	49
	Seznam obrázků	50
	Seznam tabulek	51

Úvod

Bakalářská práce se zabývá rozhodováním a posouzením použití recyklovaného nebo přírodního kameniva do pozemních komunikací z ekonomického a ekologického hlediska.

Recyklace je definována jako proces, kdy do výroby vstupují kromě přírodních surovin i suroviny, které již byly jednou použity. To má za následek snížení zátěže na životní prostředí, úsporu obnovitelných i neobnovitelných zdrojů a v neposlední řadě také mnohdy nižší výrobní náklady. Právě tímto finančním srovnáním se v mé práci převážně zabývám.

V praktické části jsem vybral několik typů vozovek, na kterých zkoumám finanční úsporu při výstavbě nebo rekonstrukci vozovky daným způsobem recyklace.

Cíl práce

Cílem práce je rozhodnout, za jakých podmínek je možné používat recyklované kamenivo a jaké to přináší výhody. Úplně první otázkou je, proč vlastně chceme, aby se recyklované kamenivo používalo. Co nám, nebo přírodě jeho použití přinese. Přinese nám jeho používání jednodušší výrobu, nebo třeba finanční úsporu?

Abych byl schopný na tuto otázku odpovědět, je potřeba vysvětlit jaké jsou běžné způsoby recyklace a jaký příděl recyklovaného kameniva jednotlivé způsoby, nebo výrobní předpisy, povolují.

Práce je tedy srovnávací řešerší různých recyklačních technik, s následným využitím zjištěných informací v praktické části, kde bude provedeno vyhodnocení.

1 Význam surovin

Suroviny tvoří ve stavebnictví základní stavební jednotku celého systému. Poskytují základ pro ekonomickou výkonnost, rozvoj a růst. Význam zajištěného zásobování surovinami pro evropský průmysl je evidentní. Přitom se jedná o skutečnost, které bylo doposud v Evropě věnováno příliš málo pozornosti. Kamenivo, které je základem stavebního rozvoje, je obzvláště důležité. Předpokládá se, že stavební sektor v zemích Evropské unie dále poroste, zvláště v nových členských zemích. Na splnění poptávky je proto potřeba ekologicky účinné, spolehlivé a udržitelné zásobování (plánování, těžba, doprava). [1]

Aby byly splněny požadavky stavebního průmyslu, je ročně vyprodukováno v Evropě víc než 3,5 miliard tun písku, šterku a drceného kameniva s hodnotou více než 35 miliard €. [1]

1.1 Použití kameniva

Kamenivo má mnohonásobné použití, například při stavbě silnic, železnic a vodních cest stejně jako při budování kanceláří nebo obytných a průmyslových budov. Různé použití kameniva jako písek a šterk, drcené kamenivo a lomový kámen je do jisté míry závislé na požadovaných chemických a fyzických charakteristikách produktu. To znamená, že například kamenivo použité do betonového krytu dálnice bude muset splnit přísnější požadavky než kamenivo pro podkladní beton. [1]

Pro znázornění jak velký význam má kamenivo v pozemních stavbách, jsou uvedeny následující příklady: Solitérní rodinný dům se suterénem obsahuje asi 450 tun surovin. Na byt o výměře 80 m² se zpracuje přibližně 100 tun surovin. Na vybudování jednoho kilometru dálnice je zapotřebí asi 160 000 tun nerostných surovin, na jeden kilometr silnice 1. třídy asi 64 000 tun, na jeden kilometr venkovské cesty 32 000 tun. [1]

Potřeba kameniva je zobrazená v tabulce 1.1. Ta popisuje průměrnou spotřebu minerálních surovin občana Evropské unie za 70 let jeho života. [1]

Tabulka 1.1 – Spotřeba nerostných surovin připadající v průměru na jednoho občana EU, převzato z [1]

Štěrkopísek	307 t	Křemenný písek	4,7 t
Hnědé uhlí	158 t	Kaolín	4,0 t
Drcené kamenivo	130 t	Potaš	3,4 t
Ropa	116 t	Hliník	1,7 t
Zemní plyn	89,6 tis m ³	Měď	1,1 t
Vápenec, dolomit	72 t	Ocel legující prvky	0,9 t
Antracit	67 t	Síra	0,2 t
Surová ocel	39,5 t	Azbest	0,16 t
Cement	29 t	Fosfáty	0,15 t
Kamenná sůl	12 t	Elektřina	293,2 MWh

1.2 Kamenivo – předpoklady do budoucna

Předpokládá se, že celosvětová poptávka po kamenivu roste ročně 4,7 %, takže roku 2011 dosáhla 26,8 miliard tun. Rostoucí zaujetí životním prostředím a využitím půdy urychlí nadprůměrné prodeje kameniva složeného z recyklovaných materiálů jako rozdrčený hydraulický a asfaltový beton a vedlejších produktů jako popílek a vysokopecní struska. Některý z nejsilnějších prodejtů bude v Indii, která je již jedním z největších národních trhů, stejně jako obrovský čínský trh. Menší trhy jako Indonésie, Thajsko a řada rozvojových zemí v Asii, a Írán také zaznamenají silné nárůsty urychlené industrializací a růstem ve výstavbě infrastruktury. Globální vzestup nebude tak silný v rozvinutých oblastech světa zahrnujících USA, Japonsko a západní Evropu. Zvýšení projektů mimo výstavbu budov v USA také přispěje k celkovému růstu trhu kameniva navzdory zpomalení výstavby obytných budov. [1]

1.3 Spotřeba na evropské úrovni

V roce 2007 dosáhl objem spotřeby kameniva v Evropě, Středním východě a Africe asi 6,5 miliard tun, což je nárůst z 6 miliard tun v roce 2006. Země jako Velká Británie, Německo, Francie, Itálie a Španělsko zůstávají v těchto letech v zásadě ve stabilní pozici důležitých trhů. Od roku 2004 se poptávka mírně zvyšuje, což zejména zapříčinil vliv nových členských států EU, zvláště České republiky, Maďarska, Polska, Slovinska a Slovenska. V roce 2006 produkce kameniva téměř dosáhla 2,9 miliard tun ročně. [1]

1.4 Stavebnictví

Jako největší odběratele kameniva a surovin vůbec, můžeme označit pozemní stavitelství, stavbu silnic, železnic, dálnic a rozsáhlých vodních děl. Můžeme předpokládat, že s rostoucí technologií a prakticky s neomezenými možnostmi stavby, bude po kamenivu rapidně stoupat poptávka.

Jako příklad může posloužit Velká Británie. Produkce kameniva ve Velké Británii během 80. let rapidně rostla a svého vrcholu dosáhla v roce 1989, od té doby mírně klesala. V roce 1994 vykazala poptávka určité zotavení, kdy bylo dokončeno několik větších silničních projektů, ale pak znovu v letech 1995 a 1996 upadla, což bylo především díky zavedení daně v roce 1996 z ukládání odpadů. Tato daň však povzbudila větší opětovné použití stavebního a demoličního odpadu. Navzdory poklesu prodejů těženého kameniva v minulých letech, signalizují čísla zvýšení stavební produkce. To je zcela jistě způsobeno zvýšením podílu recyklovaného kameniva. [1]

1.5 Produkce kameniva

Z globálního geologického hlediska v Evropě neexistují žádné známky bezprostředně hrozícího fyzického nedostatku většiny druhů kameniva. Geologická dostupnost avšak nutně neznamená přístup k těmto surovinám pro těžební společnosti. Přístup k pozemkům (tj. ložiskům) je významně ovlivňován politickými rozhodnutími, jako je například nerostně - surovinové plánování, nebo politika daní a poplatků. Snížená dostupnost ložisek kameniva je úkaz existující v celé Evropě. Například pro Švýcarsko bylo zjištěno, že z počátečních 100 % zásob štěrkopísku se asi 10 % odečítá na vrub opuštěných nebo činných těžeben, 18 % ve prospěch obytných celků, 5 % pro ochranu přírody a životního prostředí, 16 % pro lesy, 30 % pro podzemní vodu, 1 % pro dopravu a jen asi 20 % zůstává k dispozici pro těžbu. [1]

Co se týká Evropy, existují zde země s větším potenciálem štěrkopísků, země s větším potenciálem drceného kameniva, ale také některé země, které mají dostupné obě nerostné kategorie. To dozajista může určit výrobní možnosti a vývoj trhu kameniva v dané zemi nebo i mezi nimi. [1]

1.6 Ekologické hledisko

Průmysl kameniva může být považovaný za nejvíce zdrojově - intenzivní sektor v celé Evropě. Podle Eurostatu [2] v roce 2002 představoval 40 % přímých materiálových vstupů do evropské ekonomiky. Samozřejmě produkce kameniva má na životní prostředí odlišné dopady. Obecně je kamenivo spojované se třemi druhy tlaku na životní prostředí. To je především s vyčerpáním neobnovitelných zdrojů, ohrožením, které pro životní prostředí představuje samotné místo těžby (například využití půdy) a tlakem na životní prostředí, který vzniká v průběhu těžby, dopravy, použití a dalšího zpracovávání jako energetická náročnost, problémy s vodou a emisemi. [1]

Souběžně s těžbou surovin probíhají vratné a nevratné změny krajiny, kdy se krajina přetvoří v důsledku těžby nerostných surovin. Vytvoří se například velké lomy, v lepším případě vodní plochy. Po vytěžení se další dopady na životní prostředí vyskytují během (spíše dost dlouhého) životního cyklu kameniva. Samotná těžba často generuje velké množství odpadu kvůli obvykle vysokému poměru množství odpadu k množství cílového produktu. Tyto odpady, zejména je to ornice, skrývka, výklizy nebo odvaly, mohou být velmi velkými zdroji znečištění. Výroba betonu, cementu, skla a keramiky, které užívají kamenivo jako základní materiál, odpovídají za nepřímé dopady kameniva na životní prostředí, z důvodu velkých emisí a energetické náročnosti při jeho výrobě. Intenzita spotřeby energie a produkce emisí roste s každým dalším výrobním krokem, zejména při výrobě cementu a betonu. Beton je s průměrnou produkcí 1,5 až 3 tunami na hlavu ročně, nejdůležitějším stavební materiál na světě. Asi 70–80 % jeho objemu tvoří kamenivo. Většina užití energie a emisí je vázáno na dopravu uvnitř lomů, z lomů k místním zákazníkům a do míst dalšího zpracování. V případě vzdálenějších lomů a rostoucího obchodu a dovozů kameniva tato vazba nabyde na ještě větší významnosti. Nemalá je například i spotřeba vody. Průměrná spotřeba tvoří asi 0,4 m³ na tunu prodejného produktu kamenivo. [1]

Nejenom těžba kameniva, ale i jeho samotné použití přispívá k přetvoření půdy. Jedná se především o zastavěné plochy (ulice, dálnice, budovy), což má za následek nevratný zábor půdy a rozrůstání skládek odpadů, když jsou budovy naopak demolovány. [1]

1.7 Environmentální daně

Souhrnně musí být řečeno, že dopady kameniva na životní prostředí zdaleka nemohou být považovány za zanedbatelné. Pro zlepšení situace je nezbytný výzkum a různá politická opatření. Politický přístup k nalezení rovnováhy mezi ekonomickými a environmentálními hodnoty kameniva spočívá ve využití daní a poplatků. [1]

Environmentální daně a poplatky byly ustanoveny pro nalezení optimálního poměru mezi těžbou kameniva a ekologickou bezúhonností. Obecně se musí rozeznávat dvě formy daně na kamenivo: daň ad valorem (peněžní daňový základ) a daň ad quantum (množstevní daňový základ). [1] Stanovení celní sazby ad valorem znamená její určení procentním podílem z celní hodnoty (ceny), na rozdíl od cel kalkulovaných dle fyzického množství převáženého zboží – ad quantum. [11]

Jak je uvedeno výše, povaha kameniva, produktu s malou hodnotou jej dělá v zásadě nevýnosným k tomu, aby bylo přepravováno na dlouhé vzdálenosti. Co se týče celkových stavebních nákladů, cena kameniva je nízká, a tak poptávka po kamenivu je obecně nepružná. Nepružná poptávka znamená, že pokud se změní cena kameniva, poptávka po něm se výrazně nezmění. Pružnost křížové ceny mezi recyklovaným a primárním kamenivem je důležitá úvaha při rozhodování o výši daně a odhadu účinku daně z kameniva. Daň z kameniva může poskytnout důležitý signál, že vláda je odhodlaná změnit chování jeho výrobců i konzumentů. [1]

Dále jsou poskytnuty některé příklady druhů daní v jednotlivých státech. Dánsko a Švédsko jsou příklady pro ad quantum daně. Země, které oceňují vytěžení nerostných surovin ad valorem jsou Česká republika a Polsko. Čistě na kamenivo jsou daně (včetně písku, šterku nebo drceného kameniva) implementovány v Dánsku, Švédsku (daň z přírodního šterku), Velké Británii (daň z kameniva) a v Belgii a Itálii – na oblastní úrovni. Další země zvyšují báňské nebo těžební poplatky. [1]

1.7.1 Daně v různých státech

Daňová sazba se také značně mění v jednotlivých zemích. Česká republika a Itálie mají velmi nízké sazby daní nebo poplatků, které jsou pod 4 % průměrné ceny kameniva. Na rozdíl od toho má Velká Británie výjimečně vysokou daňovou sazbu 20 %, která se rovná pětině ceny tohoto materiálu. Švédsko v určitém období postupně zvýšilo daň z přírodního šterku, aby vyslalo signál výrobcům a napomohlo postupnému zlepšení v systému, avšak daň ve Švédsku zůstává značně nižší než daňová sazba aplikovaná ve Velké Británii. Dosažené daňové výnosy jsou ovlivňované jak daňovou sazbou, tak množstvím vyprodukovaného materiálu. [1]

Tabulka 1.2 - Přehled daní na kamenivo, převzato z [1]

	Česká republika	Itálie	Švédsko	Velká Británie
Daň nebo poplatek za kamenivo	0,1 EUR za tunu	0,2-0,3 EUR za tunu	1,43 EUR za tunu	2,4 EUR za tunu
Daň jako % z ceny kameniva	2-3%	4%	12%	20%
Celkový výnos z daně	1,4 milionu EUR	117 milionů EUR	22 milionů EUR	454 milionů EUR
Daň z kameniva jako % celkového příjmu z daní	0,60%	N	0,02%	0,10%
Administrativní náklady daně	N	N	0,38 milionů ročně	1,5 milionu EUR ročně

1.7.2 Daň ve Velké Británii

Daň z kameniva byla ve Velké Británii zavedena v dubnu 2002 a byla ospravedlněna přítomností externích nákladů při těžbě kameniva. Daň je vyměřována operátorům lomů a dalším organizacím, které komerčně využívají kamenivo. Byla zavedena sazbou 2,35 EUR za tunu, která se přibližně rovná 20 % průměrné ceny za tunu materiálu. [1]

Záměr daně z kameniva byl v podstatě dvojitý. Prvotním cílem bylo redukovat dopady na životní prostředí spojené s lomovou těžbou, například hluk, prach, rušení výhledu, ztráta pohody a poškození biologické rozmanitosti. Za druhé daň směřuje ke snížení poptávky po kamenivu a povzbuzuje použití náhradních materiálů především recyklované kamenivo. [1]

Podniknutá analýza ukazuje, že dopad zavedení daně z kameniva se projevil snížením prodejů drceného kameniva nízké kvality, jehož pokles odhadují na 6 milionů tun. To mělo za následek náhradu zdaněného kameniva nižší kvality odpadními produkty z nezdaněných materiálů. [1]

Je to zásadní politický krok, který dal signál výrobcům o potřebě změnit výrobní postupy a praxi. Celkovým efektem mělo být povzbuzení náhrady primárního kameniva za recyklovaný stavební a demoliční odpad, který vytváří mnohem nižší dopady na životní prostředí ze spotřebovávané energie a z emise oxidu uhličitého. Kombinace daně s ostatními politickými ustanoveními (například povolení, jakostní normy), zavedená jako balíček opatření, je často nejúčinnější v dosažení zlepšení životního prostředí. Daň sama o sobě nemusí stačit na to, aby opravila selhání trhu, jakým jsou škody na životním prostředí, způsobené těžbou kameniva. [1]

Jak bylo zmíněno výše je potřeba změnit současné trendy a zvolit jinou cestu v získání kameniva na stavbu pozemních staveb, ať už to jsou silniční komunikace, železnice, obytné nebo průmyslové objekty. Těžba kameniva má totiž obrovský dopad na životní prostředí a ráz krajiny. Proto velkou roli ve stavebnictví, především u komunikací představuje recyklace.

2 Recyklace

Recyklace kameniva je důležitá z různých hledisek. Recyklace redukuje potřebu primárních nerostných surovin, redukuje stavební odpad, dělá z něj významný obnovitelný zdroj a snižuje také množství odpadu. [1]



Obr. 2.1 - symbol recyklace, převzato
z www.cuir.cz

Hlavními produkty jsou například asfaltové vrstvy, kamenivo pro nový beton a novou podkladní vrstvu vozovky a cementem, případně asfaltem, stmelené podkladní vrstvy vozovky. Díky nepřetržitému zlepšování právního rámce, pobídkám z příslušných úřadů a technické inovaci, některé evropské země dosáhly vysokého procenta znovuvyužití stavebního odpadu. [1]

Bourání generuje velké objemy odpadu, který tak okupuje cenný prostor, když je zavážen na skládky. Recyklace odpadu ze staveb a demolic proto stále narůstá. Použití recyklovaných materiálů ze stavebního a demoličního odpadu představuje jedinou alternativu, aby uspokojila poptávku po kamenivu v oblastech, kde existuje nedostatek ložisek přírodních materiálů. V závislosti na povaze stavebního odpadu, soustředěný materiál může být použitý buď přímo, nebo zpracovaný ve zvláštních provozech. Zpracování odpadu dnes představuje výrobní proces, jehož rentabilita závisí na technickém, ekonomickém, geologickém a politickém prostředí trhů, na nichž působí. Recyklovaná kameniva jsou velmi šetrná k životnímu prostředí, jelikož přispívají k ochraně přírodních zdrojů, redukci skládek odpadků nebo třeba k redukci negativních efektů dopravy, která by byla daleko větší. I přes toto všechno ale stále strádají nízkou přijatelností kvůli odporu jistých stavebních návrhářů a manažerů a nedostatkem podpory při zadávání veřejných zakázek. [1]

Kvalita vyprodukovaného kameniva závisí na kvalitě výchozího materiálu a na stupni jeho zpracování a důsledném třídění. Když je materiál dobře vyčištěný, kvalita recyklovaného hrubého kameniva je obecně srovnatelná s přírodním kamenivem a možnosti pro použití jsou rovnocenné. [1]

2.1 Stupeň recyklace

Stupeň recyklace udává poměr mezi recyklovaným materiálem k celkovému objemu. Lze také vyjádřit procentuální hodnotou. Studiemi v jednotlivých státech byly zjištěny zajímavé výsledky. Studie v USA shledala, že až 10 % recyklovaného betonového kameniva je vhodnou náhradou za primární kamenivo pro většinu použití betonu, včetně betonu konstrukčního. Výzkum ve Velké Británii ukazuje, že až 20 % recyklovaného betonového kameniva se může použít pro většinu aplikací. Australské směrnice uvádějí, že konstrukční beton nemá až do 30-ti % obsahu recyklovaného kameniva jakýkoliv znatelný rozdíl ve zpracovatelnosti a v pevnosti ve srovnání s přírodním kamenivem. Německé směrnice stanovují, že za jistých okolností recyklované kamenivo může tvořit až 45% celkového množství kameniva, v závislosti na třídě zatížení betonu. [1]

Odhaduje se, že stupeň recyklace stavebního a demoličního odpadu se v budoucnosti bude zvyšovat. Odhady recyklačních potenciálů ukazují, že ze 180 milionů tun stavebního odpadu, který je ročně vyprodukován v EU, může být recyklováno až 50 %. To by odpovídalo asi 45 milionům m^3 betonu. Celková produkce hotové suché betonové směsi v roce 2005 se rovnala asi 430 milionům m^3 ; v porovnání s objemem potřebným pro pokrytí běžné poptávky se jedná zhruba o 10 %. [1]

Recyklované kamenivo nyní tvoří 6 % až 8 % použití kameniva v Evropě, s výraznými rozdíly mezi zeměmi. Největší uživatelé jsou Velká Británie, Nizozemsko, Belgie, Švýcarsko a Německo, zatímco Španělsko, Finsko, Švédsko, Slovensko, Irsko a Itálie mají velmi nízká procenta použití. To je velkou měrou kvůli silnému spotřebitelskému zvýhodnění využívání primárního kameniva a nedostatku povědomí nebo důvěry k vlastnostem recyklovaných materiálů v těchto zemích. Velká Británie má nyní míru recyklace více než čtyřikrát vyšší oproti Evropskému průměru. [1]

2.2 Recyklovaná kameniva v Evropě

Zde uvádím, kolik procent recyklovaného kameniva se v jednotlivých státech přidává ke kamenivu přírodnímu. Za všimnutí stojí opět Velká Británie, kde recyklace hraje významnou roli.

Belgie	5%
Francie	4%
Itálie	1%
Španělsko	0,5%
Celá Evropa včetně Velké Británie	7%
Celá Evropa mimo Velké Británie	5%

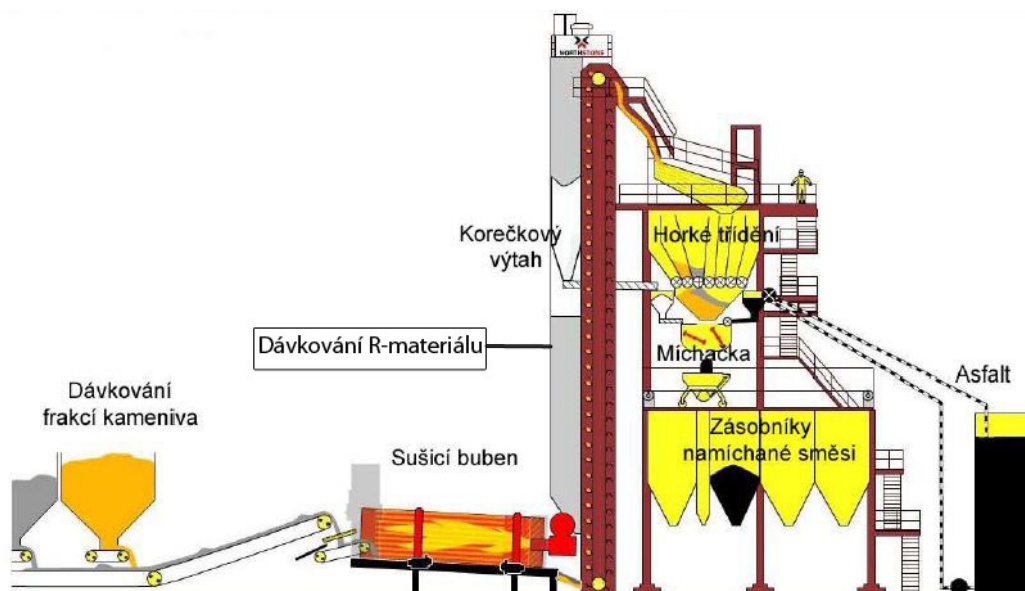
Na podporu použití recyklovaného kameniva je vhodné uvést zkušenosti z přestavby cementobetonové dálnice v Rakousku. Zde byl starý cementobetonový kryt předrcen, tříděn a získané kamenivo o zrnitosti vyšší než 4 mm bylo použito pro výrobu betonu do spodní vrstvy dvouvrstvého krytu, přičemž obsah asfaltového recyklátu v kamenivu v množství do 10 % nijak neovlivnil kvalitu betonu. [1]

3 Možnosti recyklace u novostaveb

3.1 Asfaltové vrstvy:

Nejrozšířenějším způsobem recyklace asfaltových vrstev je přidávání asfaltového R-materiálu k přírodnímu kamenivu v šaržových obalovnách. Schéma šaržové obalovny je na obrázku. 3.1. Materiál se vyfrézuje z vozovky a odveze na skládku. Mnohé výrobní mají přímo v areálu přístroje a zázemí na podrcení a vytrídění tohoto materiálu. Ten se pak přidává do procesu výroby asfaltových směsí. Podle různých způsobů přidávání rozeznáváme několik typů recyklace asfaltové směsi. [12]

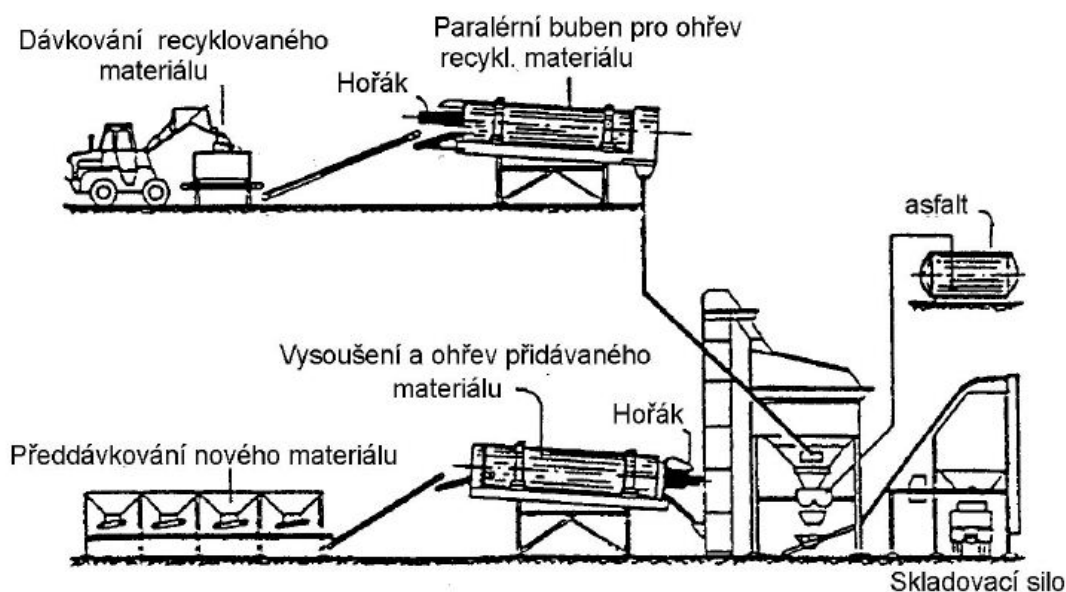
3.1.1 Dávkování přímo do míchačky šaržové obalovny



Obr. 3.1 - Šaržová obalovna s přidáním R-materiálu, převzato z [12]

Nadávkoované kamenivo se přesune do sušicího bubnu, dále do korečkového výtahu, kde probíhá mísení se studeným R-materiálem. Proto je potřeba kamenivo přehřívat na vyšší teplotu. S tímto souvisí další problémy, protože skládky nejsou většinou zastřešovány. Kamenivo a R-materiál má velkou vlhkost a proto bývá někdy sušení velmi nákladné. Maximální množství přidaného R-materiálu je 25%. Nad 25 % se doporučuje výpočet gradace přidávaného pojiva. [12]

3.1.2 Předehřívání R-materiálu v paralelním bubnu



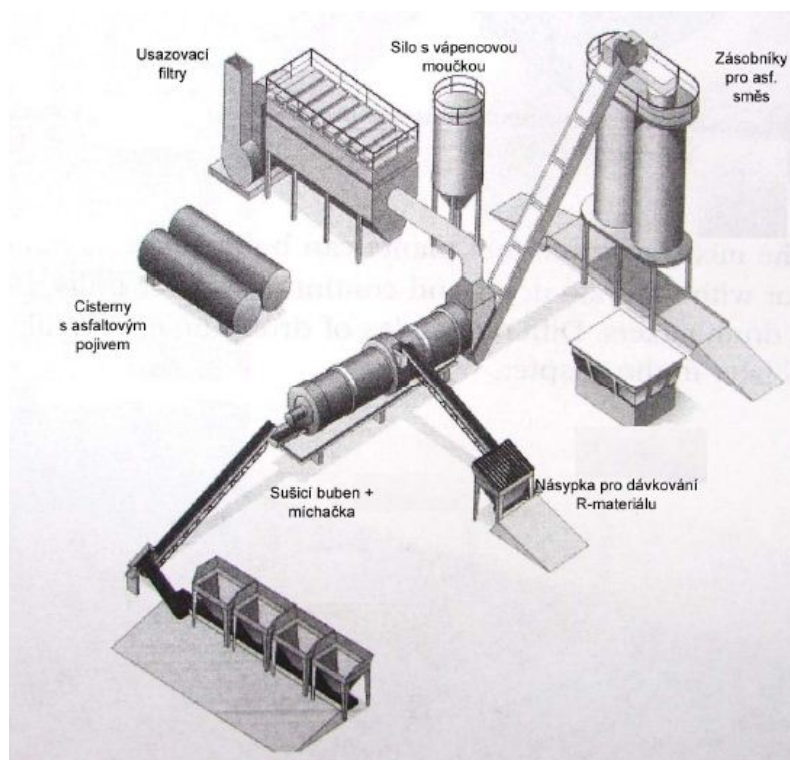
Obr. 3.2 - Předehřívání R-materiálu, převzato z [12]

Při tomto způsobu se dá využít výrazně většího množství přidaného R-materiálu než při dávkování za studena. V Německu se takto přidaného R-materiálu využívá až 80%. Opět i tady hraje vysoce důležitou roli zastřešení skládky materiálu, z důvodu snížení nákladů na ohřev. Nejenom, že by skládky měly být zastřešené, ale taky by mělo docházet k rozdělování vyfrézovaného materiálu z vozovek podle toho, v které vrstvě byl uložen. Vyšší vrstvy vykazují zpravidla vyšší kvalitu a mohou se tak přidávat do výroby kvalitnějších asfaltových směsí. [12]

Dalším zásadním problémem je česká legislativa. Zatímco v Německu je materiál poskytován investorem bezúplatně, v České republice se materiál platí a tím pádem schází vůle jeho opětovného používání. Proto je s ním také zacházeno jako s odpadem. Odfrézovaný materiál se netřídí, a to znamená, že ztrácí své cenné vlastnosti. [12]

3.1.3 Kontinuální obalovna, Metoda Drum-Mix

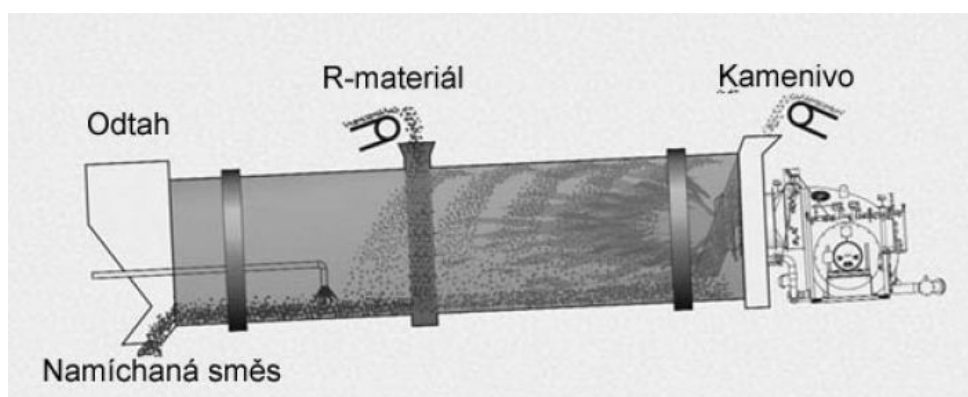
V USA se v kontinuálních obalovnách zpracovává až 80% směsí. Vyžadují konstantní kvalitu vstupních materiálů, což znamená, že v průběhu procesu nelze měnit recepturu směsi. [12]



Obr. 3.3 - Kontinuální obalovna, převzato z [12]

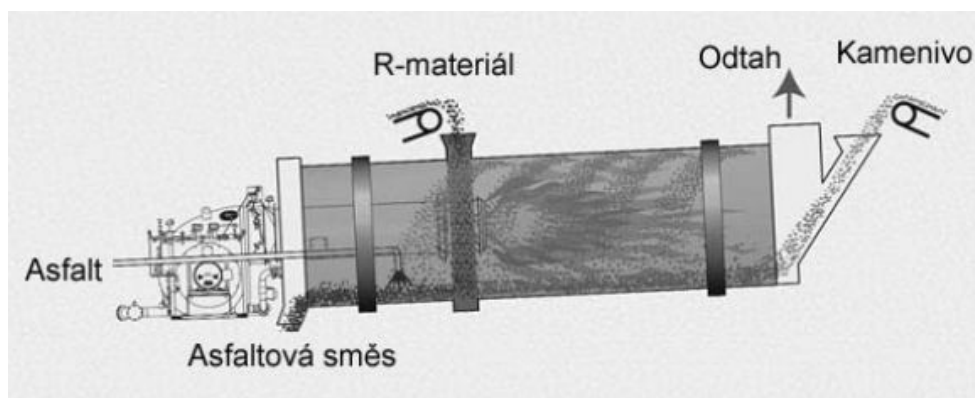
Obecně existují 3 způsoby dávkování R-materiálu:

3.1.3.1 R-materiál se přidává souběžně s proudem horkého vzduchu



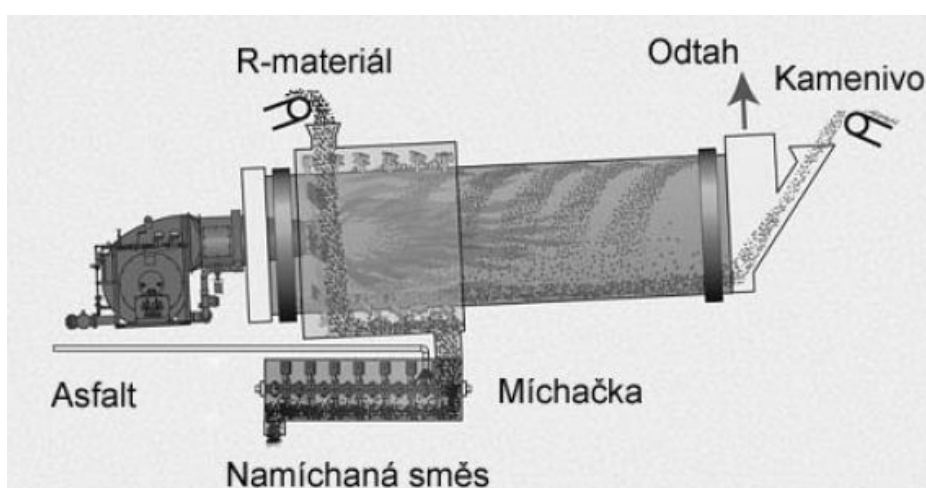
Obr. 3.4 – R-materiál souběžně s proudem horkého vzduchu, převzato z [12]

3.1.3.2 Proti proudu horkého vzduchu



Obr. 3.5 – R-materiál proti proudu horkého vzduchu, převzato z [12]

3.1.3.3 Separátní vysoušení R-materiálu, míchání v míchačce



Obr. 3.6 - Separátní vysoušení R-materiálu, převzato z [12]

Pro potřeby bakalářské práce budou dostačující následující hodnoty:

Tabulka 3.1 - Množství R-materiálu při recyklaci za horka v centru, převzato z [4]

Druh směsi	R - materiál [%]	Druh směsi	R - materiál [%]	Druh směsi	R - materiál [%]
ACO 8	25	ACL 16	40	ACP 16 +	60
ACO 8 CH	25	ACL 16 +	30	ACP 16 S	50
ACO 11	25	ACL 16 S	30	ACP 22 +	60
ACO 11 +	-	ACL 22	40	ACL 22 S	50
ACO 11 S	-	ACL 22 +	30		
ACO 16	25	ACL 22 S	30		
ACO 16 +	-				
ACO 16 S	-				

3.2 Recyklace ve směsích typu SMA

Výše uvedený postup recyklace se týkal asfaltového betonu, který se v České republice používá nejčastěji. Pro velmi zatížené komunikace, jako jsou například letiště nebo dálnice, se používají obrusné vrstvy vytvořené z kvalitnějších mastixových koberců. Do nich, na rozdíl od Evropy, je v ČR zakázáno přidávat R – materiál i přes to, že to technologie umožňuje.

Jak ukazuje tabulka 3.1, i do asfaltových betonů je určitým způsobem omezeno přidávání R – materiálu. Do obrusných vrstev označených symbolem S (odolnost proti trvalým deformacím), nebo symbolem + (kvalitnější směs) se recyklát nesmí přidávat dokonce vůbec.

Podle P. Mondscheina [3] toto opatření ale není nutné. Provedl několik zkoušek, kde zkoumal různé směsi asfaltových koberců mastixových. První směs pod označením SMA_1 byla směs bez recyklátu, s asfaltovým pojivem gradace 70/100, SMA_2 byla taktéž bez recyklátu, ale s kvalitnějším pojivem 50/70. Dále byly sestaveny 3 směsi, které se lišily právě množstvím přidaného R – materiálu.

První provedenou zkouškou byla zkouška stékavosti pojiva. Z výsledků vyplynulo, že přidáním recyklátů se stékavost nezhoršila. Jako druhá zkouška byla provedena zkouška odolnosti proti tvorbě trvalých deformací. Směsi s asfaltovým pojivem gradace 70/100 požadavky zkoušky nesplnily, ať už byly s recyklátem, nebo bez něj. Důvodem bylo, pro tak kvalitní vrstvy, nevyhovující pojivo. Směsi s recyklátem dokonce vykazovaly vlastnosti o malinko lepší. Naopak směsi s pojivem 50/70 uspěly všechny. S větším množstvím recyklátu se vlastnosti malinko zhoršovaly, stále ale byly v přijatelných mezích pro vyhovění zkoušky.

Poslední provedenou zkouškou bylo stanovení modulu pružnosti. Hodnoty naměřených modulů pružnosti byly dokonce větší u směsí s obsahem R – materiálu. To bylo zřejmě způsobené gradací starého pojiva.

Výsledky provedených zkoušek tedy prokázaly, že není důvod, aby legislativa zakazovala přidávání R – materiálu do obrušných vrstev s označením „S“ nebo „+“, dokonce ani do koberců mastixových. V případě znalosti vstupních materiálů lze dosáhnout stejných vlastností až s 30% přídatkem R – materiálu.

Jedinou nevýhodou je, že se jedná o poměrně složitý proces, kde je velmi nutné mít neustálou kontrolu nad recyklovanými materiály. Prozatím se k tomu stavíme tak, že raději celý takový postup zakážeme, než abychom museli dodržovat přísné výrobní podmínky, s možností pochybení. [3]

3.3 Podkladní vrstvy

Je zřejmé, že používání recyklovaných materiálů u krytových vrstev nekončí. Směrem hlouběji do silničního tělesa je recyklace rovněž tak významná. O tom, jaké materiály jsou pro jakou vrstvu nejvhodnější, pojednávají technické podmínky ministerstva dopravy TP 210 – Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací.

Recyklované stavebně demoliční materiály jsou při správném použití stejně hodnotné jako standardní přírodní materiály. Využívání recyklovaných materiálů správným způsobem tedy není na úkor kvality stavebního díla. [5]

Problémem je špatná informovanost o možnostech těchto materiálů a nevhodný způsob uvádění recyklačních technologií v souvislosti s nakládáním s odpady. S tím souvisí vznik mnoha uměle vytvořených problémů a zbytečných překážek. [5]

Technické podmínky TP 210 řeší využití recyklovaných minerálních odpadů z demolic staveb (dále jen stavebně demoliční odpad - SDO), do zemního tělesa, podloží vozovek a konstrukčních vrstev pozemních komunikací, dopravních a jiných ploch (dále jen PK). Recyklací SDO vzniká výrobek - recyklát, určený jako náhrada přírodního kameniva při používání do konstrukčních vrstev, případně jako vhodný materiál do zemního tělesa a podloží vozovek PK. [5]

3.3.1 Obecné užití recyklátů v pozemních komunikacích

TP 210 podle procentuálního zastoupení hlavní složky recyklátu rozděluje jejich použití v konstrukčních vrstvách. Toto rozdělení je v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2 - Doporučené užití RSM podle zastoupeného základního materiálu, převzato z [5]

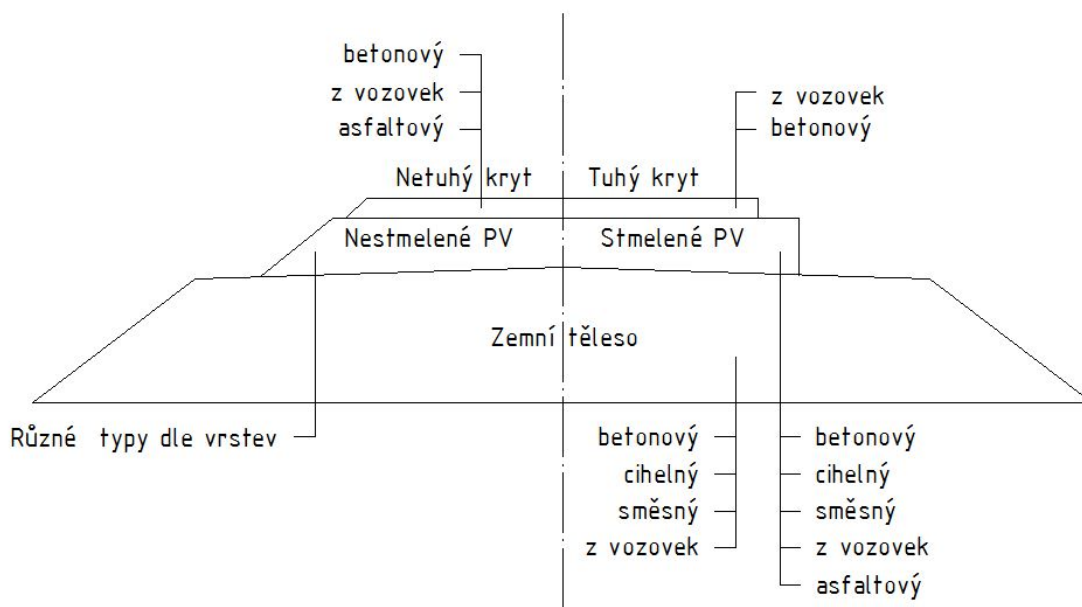
Recyklát	AB	CB	Nestmelené podkladní vrstvy				Stmelené podkladní vrstvy	Podloží, zemní těleso
			MZK	ŠDA	ŠDB	MZ		
betonový	+	0/-	+	+	+	+/-	+	+/-
cihelný	-	-	-	0/-	+	+/-	+	+
směsný	-	-	-	-	-	+	+	+
z vozovek	+	+/-	+	+	+	+/-	+	+/-
asfaltový	+	-	+/-	+	+	0/-	+	0/-

+ ... doporučuje se používat

- ... nedoporučuje se používat

0 ... podmíněně použitelný (např. z technologických, ekonomických, ekologických důvodů)

Pro lepší představu a orientaci v tabulce 3.2, uvádím doporučené materiály pro konstrukční vrstvy také v grafickém zobrazení.



Obr. 3.7 - Doporučené užití recyklátů do silničního tělesa

3.3.2 Užití RSM¹ do nestmelených vrstev

Tabulka 3.2 zobrazuje, jaké druhy recyklátů se dají použít do jednotlivých vrstev. Do nejvyšší třídy dopravního zatížení (TDZ) ale recyklát použít nelze. Od kterých TDZ lze používat recyklované vrstvy, udává tabulka 3.3.

Tabulka 3.3 - Užití RSM do nestmelených vrstev, převzato z [5]

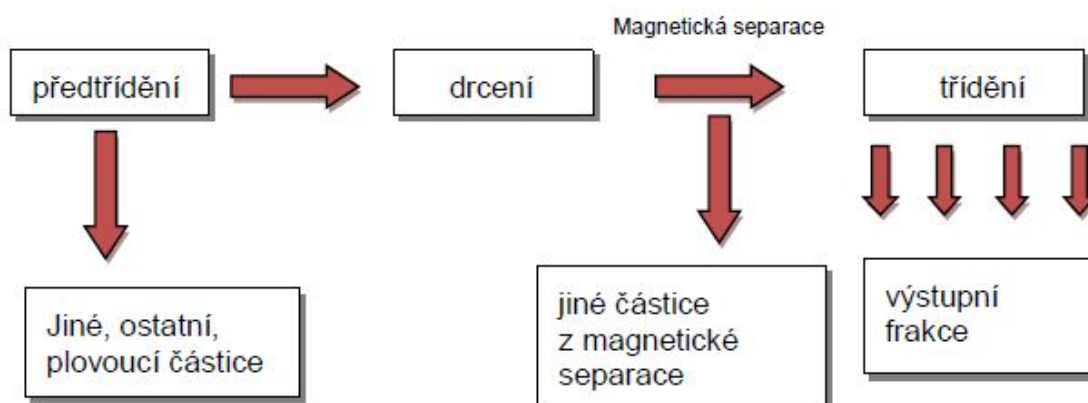
Vrstva z recyklátu	Označení	Doporučená třída dopravního zatížení podle ČSN 73 6114, Z1	
		Podkladní vrstva	Ochranná vrstva
MZK	MZK - R	bez omezení	-
ŠD	ŠD _A - R	III, IV, V, VI	bez omezení
	ŠD _B - R	V, VI	V, VI
VŠ	VŠ - R	V, VI	V, VI
MZ	MZ - R	V, VI	V, VI

3.3.3 Výroba recyklátů

Způsob výroby recyklátů má zásadní vliv na kvalitu tohoto materiálu pro použití do pozemních komunikací. Při běžných demoličních pracích je zcela nezbytné (z hlediska dalšího využití vybouraného materiálu) provádět důsledné třídění. [5] Pokud se nebude odpad třídit, bude se dít to, co se ve zpracovných odpadu ve většině případů děje. Nevytříděný materiál bude ztrácet svou hodnotu a bude používán na podřadné práce. Přitom je jeho využití daleko perspektivnější.

Kvalita recyklátu je ovlivněna nejenom samotnou technologií, ale i organizací práce a celkovým logistickým systémem chodu recyklačního zařízení, včetně skladového hospodářství, dopravních cest apod. Z hlediska získání kvalitního recyklátu se za poslední roky v domácích podmínkách ustálila všeobecně uznávaná a používaná konfigurace, orientačně naznačená blokovým schématem. [5]

¹ Recyklovaných stavebních materiálů



Obr. 3.8 - Schéma výroby recyklátu, převzato z [5]

3.3.4 Požadavky na materiál

Recyklované kamenivo lze kombinovat s kamenivem přírodním nebo umělým, pro kombinované směsi platí stejné požadavky jako v případě jednosložkových směsí a to včetně požadavků zkoušených vlastností. [5]

3.3.4.1 Předpoklady:

Veškeré vstupní materiály, které se použijí do konstrukčních vrstev, musejí splňovat požadavky stanovené v příslušných normách. Pro tuto práci budeme předpokládat, že všechny požadavky na kvalitu recyklátů jsou splněny.

Recyklované kamenivo do konstrukčních vrstev je deklarováno podle ČSN EN 13242+A1. Recyklované kamenivo do asfaltových směsí je deklarováno podle ČSN EN 13043 a splňuje požadavky ČSN EN 13108-1 až 7. Přítomnost dehtu se nepředpokládá.

Dané požadavky musí splňovat i pojivo. Cement musí splňovat požadavky stanovené v ČSN EN 197-1. Asfalty se používají výhradně 50/70 nebo 70/100 podle ČSN EN 12591.

Záměsová voda musí splňovat požadavky ČSN EN 1008.

4 Možnosti recyklace při opravách

4.1 Recyklace asfaltových vrstev na místě za horka

Na toto téma byly zpracovány technologické podmínky ministerstva doprava TP 209 – Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka. Dále z tohoto dokumentu vycházím.

Recyklace za horka na místě nabízí nové, progresivní technologie opravy asfaltových vozovek. Hlavní důvody, proč si tyto způsoby oprav stále častěji nachází uplatnění při údržbě vozovek, jsou to, že při jejich použití se stávající povrch vozovky regeneruje na místě, což znamená, že se plně využívá stávající materiál. Původní struktura a flexibilita povrchu se obnoví a podle použité technologie se buď zachová původní niveleta anebo se zesílí v jedné nebo ve dvou vrstvách. U porovnání s klasickými opravami je levnější, rychlejší (jeden pracovní proces), a přispívá k ochraně životního prostředí snížením spotřebovaného paliva potřebného na odvezení suti na skládku a naopak přivezení nové směsi na stavbu. S tím souvisí i to, že není třeba zatěžovat silniční síť přepravou materiálu těžkými nákladními vozy. [6]

Strojní souprava pro recyklaci za horka se skládá ze dvou rozehríváčů, které opravovanou asfaltovou vrstvu pozvolna nahřívají na potřebnou teplotu pomocí propanbutanových infrazářičů. Dále následuje klíčový stavební stroj remixer, který ohřátou vrstvu rozpojí a podle požadované výsledné úpravy takto získanou asfaltovou směs dokonale promíchá buď bez, anebo s přidávanými komponenty (asfalt, kamenivo,



asfaltová směs). Finální částí remixeru je v podstatě finišer, který směs znova rozprostře, reprofiluje a předhutní. Nakonec následuje hutnění recyklované směsi silničními válci. [6]

Obr. 4.1 - Rozehrívání vozovky pomocí infrazářiče, převzato z [6]

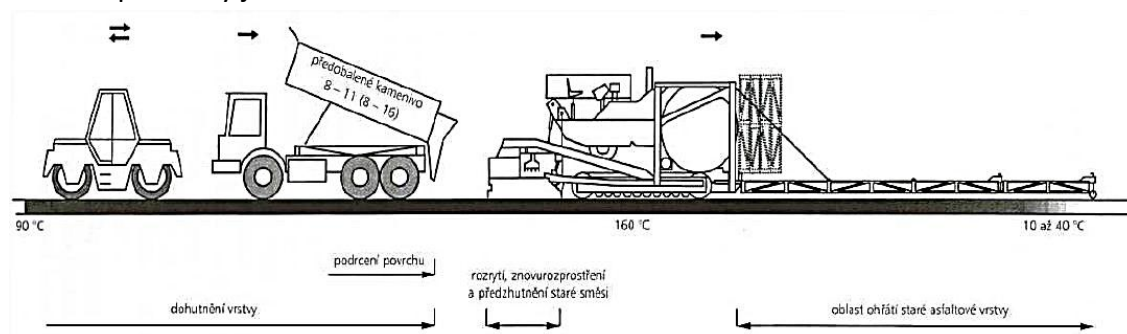
Obecně rozeznáváme čtyři různé varianty, jak lze provádět opravu vozovek na místě za horka. Jedná se o:

4.1.1 Reshape

Při tomto typu recyklace se jedná pouze o reprofilaci asfaltového krytu (většinou jen ohrusné vrstvy) a to v případě, kdy složení asfaltové směsi této vrstvy má požadované fyzikálně – mechanické vlastnosti. Jinými slovy jde o úpravu příčného profilu vozovky. Neupravují se vlastnosti stávající asfaltové směsi. [6]

Výhodou technologie je minimální spotřeba stavebního materiálu, značné výkony, a s tím spojené poměrně nízké náklady. Pomocí infračerveného tepla se dosáhne nahřátí asfaltových vrstev do hloubky 60 až 70 mm, potom remixer rozpojí a neprofiluje nahřátý materiál do hloubky 30 až 50 mm. Používá se zejména při malých deformacích vozovky, nezasahujících do ložní a horní podkladní vrstvy. Je však potřeba opravit veškeré trhliny, procházející více vrstvami. [7]

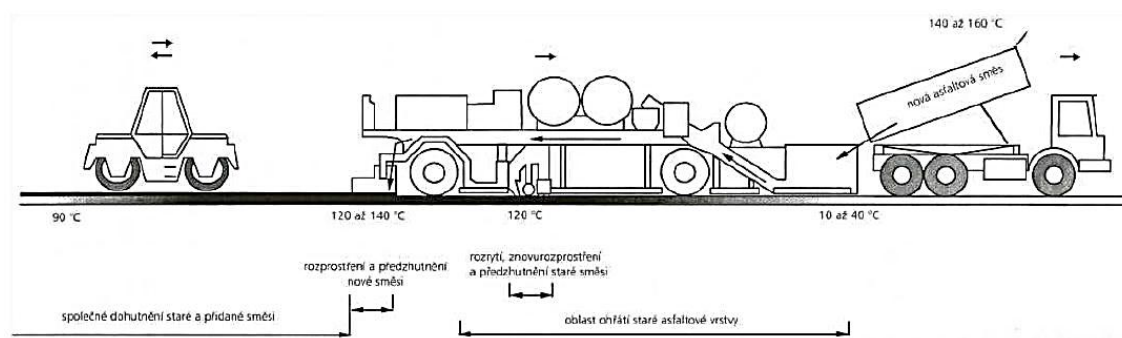
Schéma pokládky je znázorněno na obr. 4.2



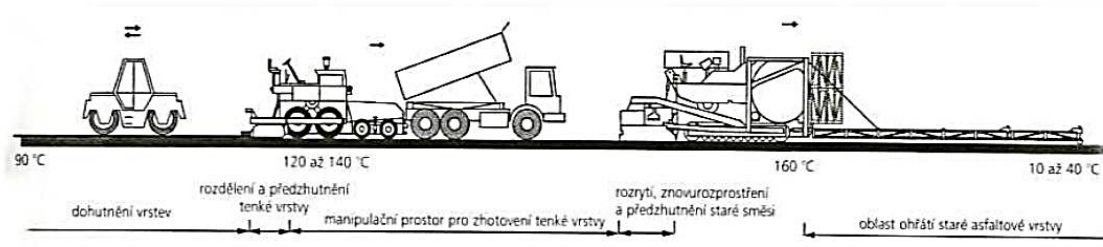
Obr. 4.2 – Reshape, převzato z [7]

4.1.2 Repave

V tomto případě se rovněž jedná o reprofilaci původního asfaltového krytu vozovky, ale s požadavkem zesílení vozovky o další ohrusnou vrstvu. Lze to také popsat jako úpravu příčného profilu vozovky s položením nové asfaltové vrstvy. Podstatou technologie (někdy označovaná jako Cutlerova technologie) je ohřátí či přehřátí (teplotou 120-130°C) a rozrytí starého asfaltového povrchu do hloubky 20 mm, rozhrnutí ohřáté směsi do nového profilu (včetně případného přidání regeneračního aditiva), položení nové směsi a zhutnění celé úpravy. Nová směs může být přidávána okamžitě po přeformování staré vrstvy jedním technologickým zařízením, nebo odděleně běžným typem finišeru jedoucím za prvním zařízením po již vytvořené vrstvě. Na 1 m² je možné navrhnout množství nové směsi od 30 do 100 kg, což představuje zesílení vozovky o 10 až 40 mm. [7]



Obr. 4.3 - Repave s okamžitým přidáním nové směsi, převzato z [7]



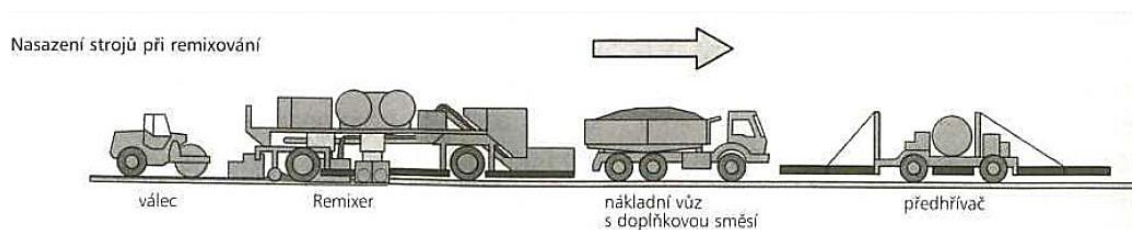
Obr. 4.4 - Repave s odděleným přidáním nové směsi, převzato z [7]

4.1.3 Remix

Recyklace asfaltové vrstvy za horka na místě. Při této technologii je proti prvním dvěma variantám (Reshape, Repave) zásadní rozdíl v tom, že původní asfaltovou vrstvu upravuje na požadované fyzikálně – mechanické vlastnosti, jako například špatnou čáru zrnitosti nebo nedostačující vlastnosti pojiva přidáním potřebných komponentů (změkčující přísady, silniční asfalt, předobalená směs kameniva). Konstrukce remixeru umožňuje přidávání asfaltového pojiva a asfaltové směsi podle předepsané receptury. Za účelem stabilizace a změkčení původní asfaltové směsi se obvykle přidává 5 až 30% nových materiálů, což odpovídá asi 15-100 kg kameniva a 0,5 kg pojiva na m². Technologie umožňuje efektivní recyklaci asfaltových vrstev do hloubky 50 mm, přičemž po přidání nové směsi (Remix plus) může být prováděna výsledná vrstva v tloušťce až 70 mm. [6],[7]

4.1.4 Remix plus

Tato metoda opravy asfaltových vrstev vozovek je nejmladší a souvisí se stálým zdokonalováním remixerů. Podobně jako při variantě "repave" se jedná o vytvoření dvou asfaltových vrstev současně. Rozdíl je v tom, že původní asfaltový kryt se upraví technologií "remix" pomocí přidání potřebných komponentů na základní recyklovanou vrstvu, odpovídající vlastnostem ložní vrstvy a na ní se položí požadovaná nová obrusná vrstva. [6]



Obr. 4.5 - Schéma technologie remix, převzato z [7]

4.2 Recyklace asfaltových vrstev na místě za studena

Recyklace za studena s asfaltovým nebo kombinovaným pojivem je vhodná zejména pro podkladní vrstvy silničních vozovek prováděných z recyklovaného materiálu původní vozovky, případně z jiných recyklovaných nebo místních materiálů.[9]

Její použití a výhody jsou podobné jako u recyklace asfaltových vozovek za horka. Umožňuje okamžité využití vyfrézovaného materiálu při opravě silnic. Na stavbu se při recyklaci nedováží nová asfaltová směs, dopravní uzavírky se zkracují na minimum, snižuje se množství odpadů a objem těžké stavební dopravy, náklady klesají a životní prostředí netrpí. Za hodinu je zařízení schopno opravit až 150 metrů vozovky v šířce 3,5 m, za den pak jeden a půl kilometru. [9]

Technologie je vhodná zejména k opravám vozovkových krytů, jejichž konstrukce obsahuje hutněné asfaltové vrstvy, vrstvy asfaltových postřiků, nátěrů a jiné vrstvy osahující asfaltové pojivo. Pro investory, správce i uživatele komunikací je důležité, že rekonstrukcí vozovky se zlepší technické vlastnosti - dochází ke zvýšení její únosnosti, trvanlivosti, odolnosti vůči vodě a mechanickému opotřebení a je zajištěna reprofilace příčného řezu a podélných nerovností. [9]

Studená recyklace se v zásadě dělí podle hloubky, do které stroj zasahuje. Je však možno ji členit i do tří skupin podle pojiv, které se do směsi po odfrézování přidávají: s hydraulickým pojivem (cement nebo vápno), s asfaltovým pojivem (asfaltová emulze nebo asfaltová pěna) a s kombinovaným pojivem (cement a asfaltová emulze nebo cement a asfaltová pěna). [9]

Na tuto problematiku jsou stanoveny technické podmínky ministerstva dopravy TP 208 – Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena

4.2.1 Celková (hloubková) recyklace

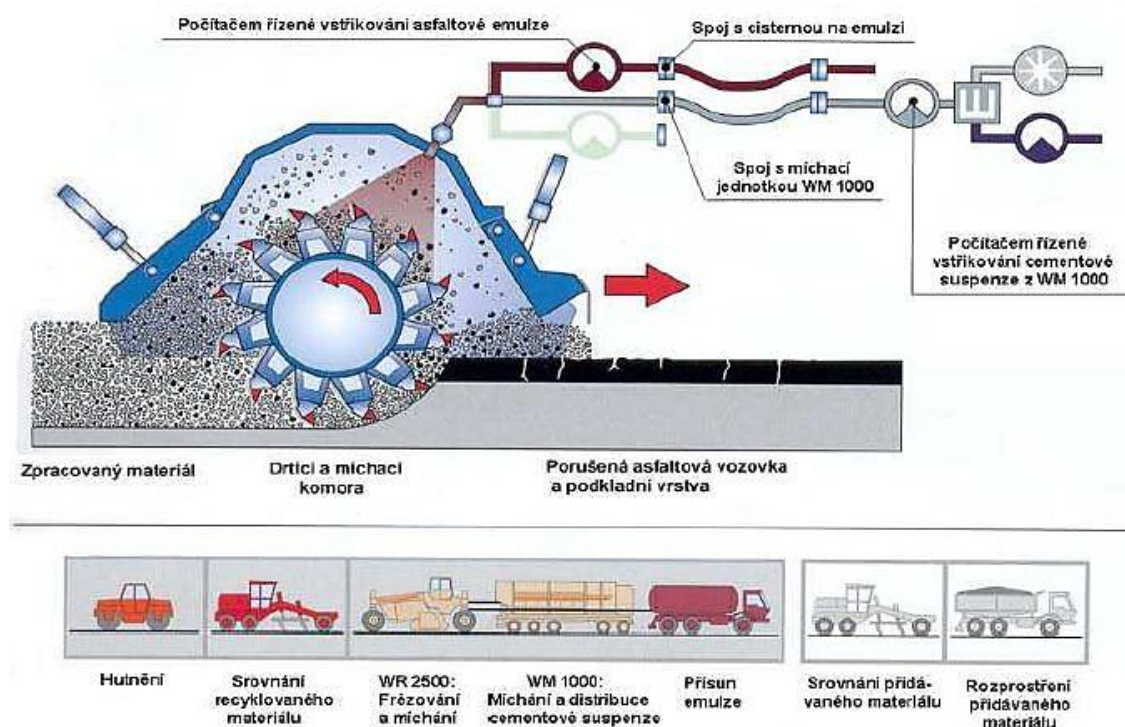
TP 208 definují hloubkovou recyklaci jako recyklaci podkladních vrstev nebo společnou recyklaci krytu (nebo jeho části) a podkladních vrstev na místě do hloubky obvykle 120 až 250 mm, kde se jako pojivo používá cement nebo kombinace cementu + asfaltové emulze. Cement je možno nahradit hydraulickým pojivem na bázi cementu.

Podle výsledků předem provedené diagnostiky stavu vozovky a laboratorních zkoušek se nejprve provede rozfrézování stávající konstrukce komunikace (v tloušťce 100 až 300 mm) půdní frézou. Tato směs se upraví autograderem do požadovaných profilů a předhutní se těžkým vibračním válcem. Vzniklá vrstva se doplní předepsaným množstvím kameniva, cementu s přidáním asfaltu, případně asfaltové emulze a provede se promíchání. Následně se ihned realizuje profilace autograderem a zhutnění vrstvy těžkým vibračním válcem na požadovanou míru zhutnění. Vytvoří se nová únosná konstrukční vrstva z materiálů staré konstrukce komunikace, na kterou se podle třídy komunikace provede kryt z asfaltového betonu nebo i jednoduchá úprava nátěrem či mikrokobercem. [8]

4.2.2 Částečná recyklace

TP 208 definují částečnou recyklaci jako je recyklace asfaltových vrstev v krytu na místě do hloubky max. 120 mm, kde se jako hlavní složka pojiva používá asfaltová emulze. [14]

Na relativně mělké frézování v tomto případě postačí i silniční fréza. Poté následuje třídění a předrcení materiálu. Maximální velikost frézovaného materiálu musí být po podrcení 22 mm. Do tohoto podrceného recyklátu se přidají pojiva, zejména jde o asfaltové emulze a celá směs se promíchá. Po položení směsi finišerem se směs zhutní a povrch se ošetří nátěrem s podrcením nebo se po vyzrání položí další asfaltová vrstva. [4]



Obr. 4.6 - Recyklace za studena, převzato z textů předmětu BM02

4.3 Za studena, nebo za horka?

Každá technologie má své zastánce i odpůrce. Při nahřívání dochází podle některých odborníků k vypálení asfaltu a k jeho znehodnocení. Recyklace za horka vypadá hezky, ale vydrží kratší dobu. Studená recyklace vytváří naopak pružnější vrstvu, která je schopna lépe přenášet napětí z podkladních vrstev. Pokud dojde k povrchové recyklaci, je životnost prodloužena o dalších 15 let. Při použití studené technologie však musí být za sedm až deset dní ještě položen konečný koberec. [9]

Silnice se u nás zatím většinou opravují pokládkou nového asfaltového povrchu na stávající vozovku nebo odfrézováním a položením asfaltové směsi. Oba způsoby mají jen krátkodobý účinek a po pár letech se silnice může opravovat znovu. Rekonstrukce vozovky novými technologiemi se soustředí na vytvoření kvalitního podkladu. Asfaltu na konečnou úpravu se spotřebuje o polovinu méně. [9]

Z toho pramení i nižší cena: Rekonstrukce vozovky při využití technologie za studena, která jde do hloubky, včetně položení finálního živičného koberce stojí zhruba od šesti do osmi milionů korun za kilometr silnice. [9]

Obdobná technologie, která však odebírá pouze živičnou vrstvu, je ještě mnohem levnější, asi 3,5 až 4,5 milionů korun za kilometr. Použití staré technologie jako je odstranění asfaltového krytu, odstranění podkladových vrstev, vyrovnaní pracovní plochy, výroba nových podkladových vrstev a položení živičného koberce stojí 15 až 20 milionů korun na kilometr. [9]

5 Cenová analýza

Veškeré výše uvedené metody recyklace, na místě nebo v centrech, za studena nebo za horka, jsou více, nebo méně známé. Je to způsobené především tím, že v České republice není recyklace příliš zaužívaný pojem. Koneckonců ani národní normy neuvažují s tak velkým množstvím přidaného recyklovaného materiálu jako ty evropské. Přitom při určité míře recyklátu, řada provedených zkoušek svými výsledky zaručuje konstantní vlastnosti.

Dále se pokusím srovnat některé uvedené metody na idealizovaném úseku komunikace z toho nejprůkaznějšího hlediska, z hlediska ceny.

5.1 Označování v TP 170

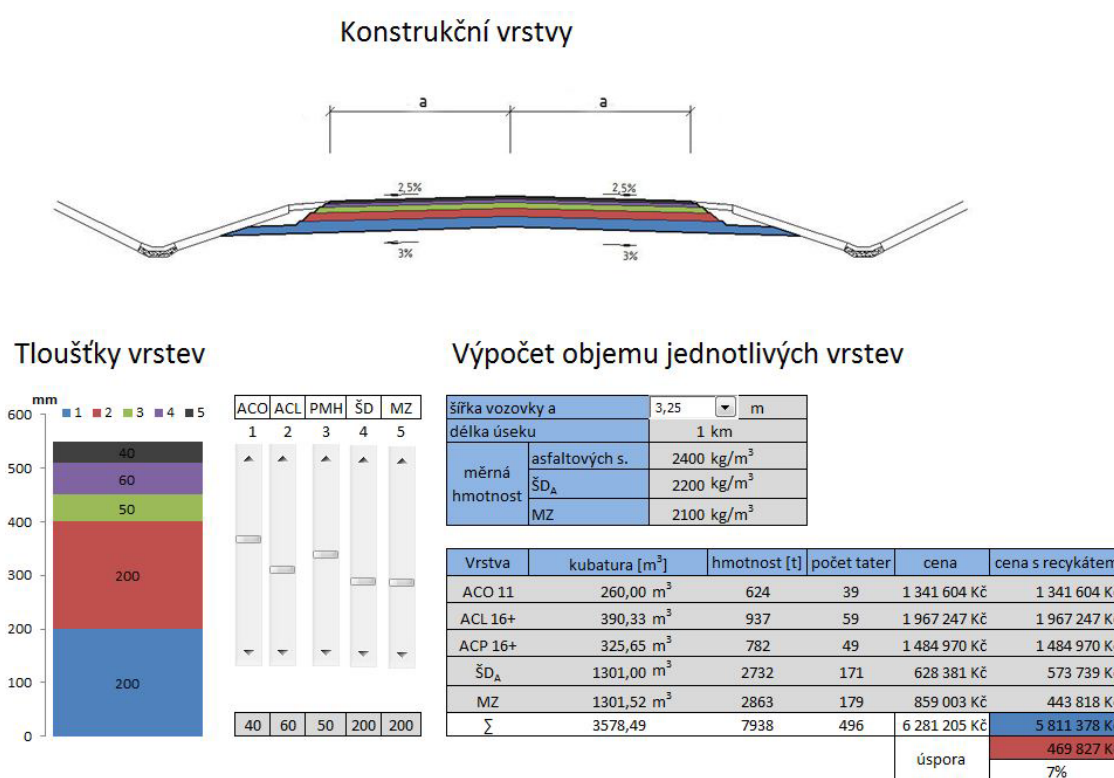
Druhy vozovek jsou v TP 170 označovány následujícím způsobem:

$X - Y - Z$; kde „X“ může být D0, D1 nebo D2, což představuje návrhovou úroveň porušení vozovky. „Y“ označuje, zda se jedná o tuhou – T, nebo netuhou konstrukci vozovky – N. A konečně „Z“ představuje varianty, kde je vždy obrušná a ložná vrstva stejná, a mění se podkladní vrstvy. Označení D1 – N – 3 znamená, že se jedná o vozovku s návrhovou úrovní porušení D1, s netuhou konstrukcí krytu a celkově je vozovka uváděna pod číslem 3.

Dále typ vozovky záleží na třídě dopravního zatížení. S nižší třídou obecně klesá tloušťka konstrukce.

5.2 Výpočet v programu MS Excel

Na celou cenovou analýzu jsem vytvořil sešit v programu Microsoft Excel, který názorně počítá a ukazuje cenové rozdíly při používání jednotlivých recyklačních postupů, jako je například přidávání R-materiálu do obrusných vrstev, celé výměny vrstev nebo případ horké a studené recyklace. Veškeré výpočty, které budu používat, a následně s nimi pracovat, jsou výstupy z tohoto sešitu.



Obr. 5.1 - Sešit programu MS Excel

Jak lze vidět, pomocí posuvníků jde velmi jednoduše nastavit tloušťky jednotlivých vrstev a také si vybrat šířku jízdního pruhu. Podle zadaných rozměrů se spočítá kubatura úseku, podle zadané měrné hmotnosti potom hmotnost. Pro zajímavost ještě uvádím počet nutných nákladních automobilů², potřebných k dovozu materiálu.

Součástí sešitu je ceník materiálů, do kterého si každý může vepsat jejich aktuální ceny. Ceny, které jsou přednastavené, vychází z aktuálních ceníků na tuzemském trhu. Podle takto zadaných cen a zjištěné hmotnosti už není problém spočítat cenu materiálu.

² Nosnost nákladního automobilu je uvažována 16t.

Ještě jednou zdůrazňuji, že veškeré kalkulace, které provádím, jsou pouze za cenu materiálu. Ceny strojů a obluhu zanedbávám. Není to velké pochybení, protože jak klasické způsoby výstavby, tak i výstavba z recyklátů má své pracovní stroje, u kterých se jejich náklady na provoz vyrovnají.

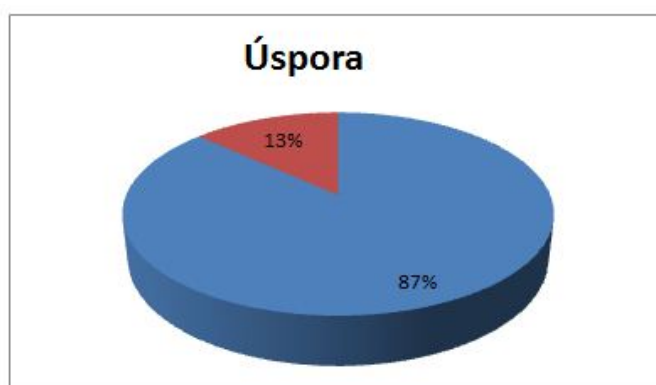
Poslední a zároveň nejzajímavější položkou v tabulce je cena, která vznikne, pokud klasické kamenivo, nebo celé vrstvy nahradíme recyklátem. Kolik se přidá R-materiálu do asfaltové vrstvy, nebo výměnu rovnou celé vrstvy, lze rovněž velmi jednoduše nastavit.

Změna vrstev

Přidávání R - materiálu do výroby obalovaného kameniva		
<div style="text-align: center;">Do ohrusné vrstvy</div> <div style="text-align: center;"> <input style="width: 100%;" type="range"/> </div> <div style="text-align: center;">21 % R-materiálu Předehřátí nebo přímo</div>	<div style="text-align: center;">Do ložní vrstvy</div> <div style="text-align: center;"> <input style="width: 100%;" type="range"/> </div> <div style="text-align: center;">8 % R-materiálu Předehřátí nebo přímo</div>	<div style="text-align: center;">Do podkladní vrstvy</div> <div style="text-align: center;"> <input style="width: 100%;" type="range"/> </div> <div style="text-align: center;">27 % R-materiálu Pouze předehřátí</div>
<div style="background-color: #4a7ebb; color: white; padding: 2px;">Nahrazení vrstev za recyklované</div> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <div><input checked="" type="checkbox"/> Nahrazení ŠD za recyklát</div> <div><input type="checkbox"/> Nahrazení MZ za recyklát</div> </div>		

Obr. 5.2 - Nastavení množství přidaného recyklátu

Výsledkem celého procesu je úspora, která by byla teoreticky možná, pokud by množství recyklovaných materiálů bylo takové, jak bude nastaveno v Excelu.



Obr. 5.3 - Spočtená úspora

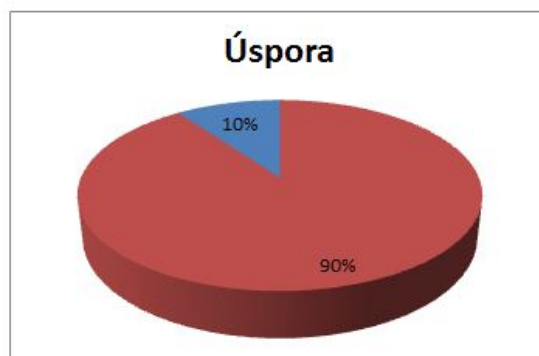
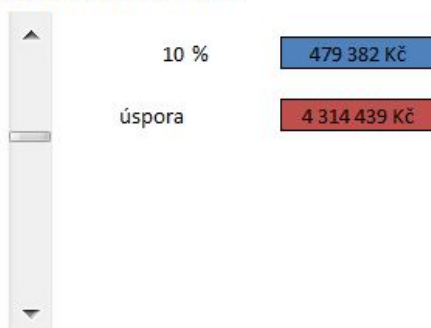
Při recyklaci na místě je situace přesně opačná. U recyklace za horka se frézují obrusné vrstvy a mísením s novým materiálem se znovu pokládají. To znamená, že v ideálním případě se touto technologií ušetří 100% nákladů. To ale není možné, protože se musí do rozdrčené směsi přidávat materiál nový. Cena výsledné vrstvy je pouze cena tohoto přidaného materiálu.

Recyklace vozovky na místě

Oprava vozovky klasickou technologií 4 793 821 Kč

Recyklace vozovek za horka

Přidává se až 30% nového materiálu.



Obr. 5.4 - Recyklace vozovky na místě

Poslední ze způsobů je recyklace na místě za studena. U ní se rozdrťí všechny vrstvy, pouze spodní podkladní se částečně ponechá. Na tento zhutněný podklad se pak položí asfaltový koberec. Cena za materiál na takto provedené vozovce je tedy cena za asfaltové vrstvy. Ty mohou být buď bez, nebo s přidáním R-materiálu.

Recyklace vozovek za studena

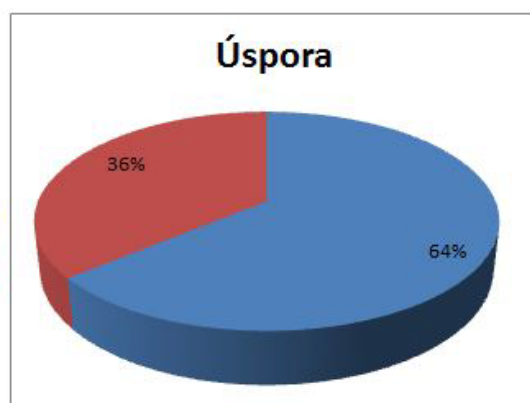
Oprava vozovky klasickou technologií 6 281 205 Kč

Oprava recyklací za studena

úspora

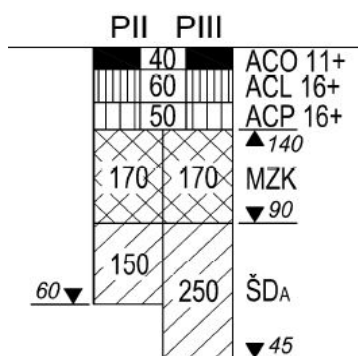
4 016 313 Kč

2 264 891 Kč



Obr. 5.5 - Recyklace za studena

5.3 Ukázka na vybraných typech vozovek



Obr. 5.6 - D1-N-1,
převzato z [10]

5.3.1 D1-N-1 TDZ III

V TP 170 není vyloženě napsáno (tak jako u TDZ IV-VI), že lze podkladní vrstvy nahrazovat vrstvou recyklátu. Budu tedy uvažovat pouze s přídavkem R – materiálu do ohrubných asfaltových vrstev. Podle tabulky 3.1 do vrstvy ACO 11+ R – materiál přidávat nelze. Pouze do vrstvy ACL 16+ v hodnotě 30% a do ACP+ v hodnotě 60%.

Jak bude vypadat kalkulace, ukazuje tabulka 5.1.

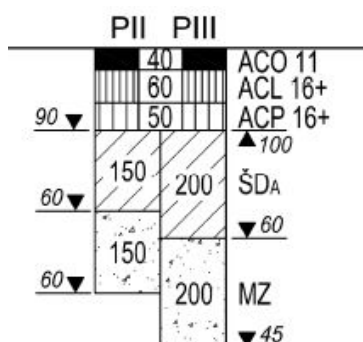
Tabulka 5.1 - Možné úspory u D1-N-1

Vrstva	Kubatura [m ³]	Hmotnost [t]	Nákl. Aut	Cena	Cena s recyklátem
ACO 11 +	260,00 m ³	624	39	1 347 844 Kč	1 341 604 Kč
ACL 16+	390,33 m ³	937	59	1 967 247 Kč	1 419 228 Kč
ACP 16+	325,65 m ³	782	49	1 484 970 Kč	664 329 Kč
MZK	1105,99 m ³	3207	200	962 211 Kč	962 211 Kč
ŠDA	1626,58 m ³	3578	224	823 050 Kč	823 050 Kč
Σ	3708,55	9128	571	6 585 322 Kč	5 210 422 Kč
				úspora	1 374 900 Kč
					21%

V případě recyklace vozovek na místě za horka cena vozovky závisí pouze na množství přidaného materiálu. Pokud budeme uvažovat maximální příspěvek 30%, které se běžně používá, je zřejmé, že úspora bude 70%.

U recyklace na místě za studena se cena celé vozovky odvíjí převážně od ceny krytových vrstev. Cenu podkladních vrstev, které zemní fréza promíchala a znovu se zhutnily, neuvažují. Do krytových vrstev opět počítám s plným příspěvkem R – materiálu. Při takovéto úvaze je možné získat úsporu až 48%.

5.3.2 D1-N-3 TDZ IV



Vozovka se používá na TDZ 4. Od této třídy TP 210 povoluje nahradit ŠD_A betonovým recyklátem a MZ recyklátem směsným. Podle tabulky 3.1 je možné nahradit vrstvu ACO 11 R – materiálem v hodnotě 25%, vrstvu ACL 16+ v hodnotě 30% a ACP 16+ v hodnotě 50%.

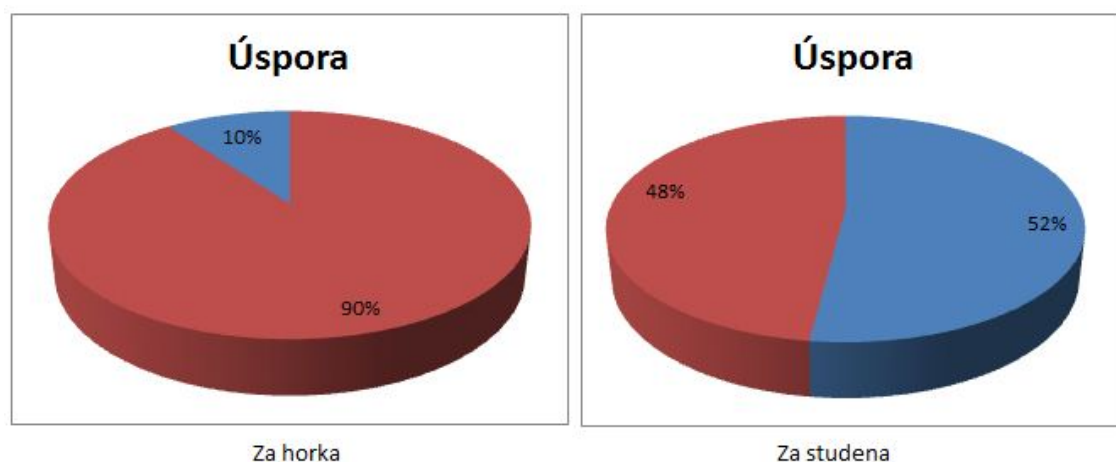
Při maximálním možném využití recyklátu je možno teoreticky dosáhnout úspory 34%.

Obr. 5.7 - D1-N-3 převzato z [10]

Tabulka 5.2 - Možné úspory u D1-N-3

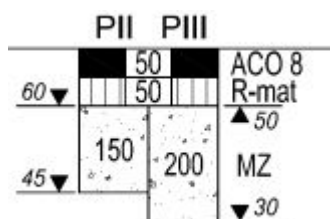
Vrstva	Kubatura [m ³]	Hmotnost [t]	Nákl. Aut	Cena	Cena s recyklátem
ACO 11	260,00 m ³	624	39	1 341 604 Kč	1 029 603 Kč
ACL 16+	390,33 m ³	937	59	1 967 247 Kč	1 419 228 Kč
ACP 16+	325,65 m ³	782	49	1 484 970 Kč	664 329 Kč
ŠD _A	1301,00 m ³	2732	171	628 381 Kč	573 739 Kč
MZ	1301,52 m ³	2863	179	859 003 Kč	443 818 Kč
Σ	3578,49	7938	496	6 281 205 Kč	4 130 717 Kč
				úspora	2 150 488 Kč
					34%

Při recyklaci na místě za horka i za studena platí stejné podmínky jako u konstrukce vozovky uvedené výše. Při přidání 10% nového materiálu do recyklace za horka a maximálního přidání R – materiálu do vrstev, nastane úspora znázorněná na obr. 5.8.



Obr. 5.8 - Úspora při recyklaci za studena a za horka

5.3.3 D2-N-3 TDZ O



Obr. 5.9 - D2-N-3, převzato z [10]

Třída dopravního zatížení „O“ znamená, že se jedná o komunikace pouze pro osobní automobily.

Podle tabulky 3.1 lze do vrstvy ACO 8 přidat až 25% R – materiálu. Prostřední vrstva je již podle TP 170 navrhnutá z recyklátu a MZ lze podle TP 210 nahradit vrstvou smíšeného recyklátu o stejné tloušťce.

Při maximálním možném využití recyklátu je možno teoreticky dosáhnout úspory 31%, jak je vidět v tabulce 5.3.

Tabulka 5.3 - Možné úspory u D2-N-3

Vrstva	Kubatura [m ³]	Hmotnost [t]	Nákl. Aut	Cena	Cena s recyklátem
ACO 8	260,00 m ³	624	39	1 385 284 Kč	1 062 363 Kč
R	325,33 m ³	781	49	163 964 Kč	163 964 Kč
MZ	1301,52 m ³	2863	179	859 003 Kč	443 818 Kč
Σ	1886,85	4268	267	2 408 252 Kč	1 670 146 Kč
				úspora	738 106 Kč
					31%

U recyklace na místě za horka jsou kalkulace opět stejné. Cena je pouze za to, kolik se přidá nového materiálu.

U recyklace za studena dochází k úspoře až přes 50%, protože jak je známo, zde rozhoduje cena pouze asfaltových vrstev a při nižším dopravním zatížení lze přidávat větší množství R-materiálu do výroby.

6 Zhodnocení práce

Z práce vyplynulo, jak velké mohou být finanční úspory při nově postavené komunikaci s maximálním dávkováním recyklátu, jaké povolují národní normy. Výsledky shrnuje tabulka 7.1

Tabulka 7.1 - Porovnání výsledků

Vozovka	Úspora
D1-N-1 TDZ III	21%
D1-N-3 TDZ IV	34%
D2-N-3 TDZ O	31%

Vyplnilo se očekávání, že největší úspora nastane u vrstev, které jsou navrženy pro obslužné komunikace a silnice nižších tříd.

Na první pohled se nemusí zdát úspora tak velká, při komplikacích, jaké nám výroba recyklovaného kameniva přináší. (Důsledné třídění, zastřešování skládek, množství stavebních strojů...) Musíme si ale uvědomit, že u každé konstrukce, kde použijeme recyklované kamenivo, které je samozřejmě v souladu s předpisy a nijak neomezuje stavební dílo, se dopouštíme obrovské úspory na životním prostředí tím, že se takového kameniva zbavujeme. Nemusíme jím zaplňovat skládky a naopak ani nemusíme těžit nové, přírodní.

7 Závěr

Práce je rozdělena na několik dílčích částí. V první části jsem se zabýval obecným pohledem na kamenivo, na jeho význam a použití. Zmínil jsem také souvislost kameniva s životním prostředím a to, jak se s tímto problémem vypořádaly některé evropské státy.

Po těchto obecných kapitolách následuje část, kde jsem se podrobněji zabýval způsoby recyklace asfaltových směsí a podkladních vrstev. U asfaltových směsí to je recyklace na místě nebo v centru, za horka, nebo za studena. U podkladních vrstev potom výměna celé vrstvy za vrstvu z recyklátu.

Na konci teoretické části je popsáno, jakým způsobem funguje sešit, který jsem vytvořil v programu MS Excel na výpočet finančních úspor právě při použití recyklovaného kameniva. Ten je přizpůsoben tomu, aby po vložení nutných parametrů a aktuálních cen jednotlivých vrstev přehledně vyhodnotil úsporu, kterou je možno dosáhnout na stavebním materiálu. Uvažování cen strojů a jejich obsluhy je zanedbáno.

V praktické části jsem tento sešit využil a doplnil do něj 3 typy charakteristických skladeb vozovek, do kterých je povoleno přidávání recyklátů. Z porovnání vyšlo, že největší úspory je možno dosáhnout na vozovkách s nižším dopravním zatížením, kde nám příslušné předpisy dovolují hojně použití recyklátů.

Na závěr ještě jednou zdůrazním skutečnost, že recyklované kamenivo lze upravit tak, že má velmi podobné vlastnosti jako kamenivo přírodní a tím pádem ho lze přidávat do všech konstrukcí.

8 Použitá literatura

- [1] STARÝ, Jaromír et al. GEOFOND. *SUROVINOVÉ ZDROJE ČESKÉ REPUBLIKY: NEROSTNÉ SUROVINY* [online]. Ludmila Richterová. 2009, 474 s.[cit. 2012-05-15]. Dostupné z: www.geofond.cz/cms/soubory/o-nas/docs/rocenka2009sur.pdf
- [2] EUROSTAT. *Europe in figures: Eurostat yearbook 2010* [online]. 2010, 664 s.[cit. 2012-05-15]. ISBN 978-92-79-14884-2. Dostupné z: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-CD-10-220/EN/KS-CD-10-220-EN.PDF
- [3] MONDSCHNEIN, Petr. Recyklace za horka v asfaltových směsích: aplikace ve směsích typu SMA. *Využití odpadních hmot a recyklátů ve stavebnictví* [online]. 2011 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: http://www.udrzitelnavystavba.cz/WP3_papers/19_Mondschein.pdf
- [4] MONDSCHNEIN, Petr. Přednáška č. 8, předmět 136SS2 - Silniční stavby 2. Dostupné z <http://mondy.webnode.cz/prednasky/>
- [5] TP 210. *Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací*. Brno, 2011.
- [6] *Baltom* [online]. 2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.baltom.cz/technologie.html>
- [7] VALENTIN, Jan. Recyklace asfaltových vozovek. ČVUT [online]. 2011 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://silnice.fsv.cvut.cz/predmety/stpk/recyklaceasfaltovychvozovek.pdf>
- [8] SAT. SAT [online]. 2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.sat-roads.cz/text-recyklace-za-studena>
- [9] Enviweb. *Envi* [online]. 2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/61737/stroje-k-recyklaci-vozovek>
- [10] TP 170. *Navrhování vozovek pozemních komunikací: dodatek*. Brno, 2010.
- [11] Business centrum: Slovník pojmů. [online]. 2012 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://business.center.cz/business/pojmy/p901-ad-valorem.aspx>
- [12] Učební texty předmětu BM02
- [13] TP 209. *Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka*. Praha, 2009.
- [14] TP 208. *Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena*. Olomouc, 2009

Použité termíny

Environment – životní prostředí, okolí člověka

Betonový recyklát (Rc) – Vznikne rozdrčením a vytříděním betonu z betonových konstrukcí, nebo jejich jednotlivých částí. [5]

Cihelný recyklát (Rb) – je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním pálených a nepálených zdících prvků (např. cihly, obkladačky, střešní tašky)

Směsný recyklát – je recyklát, získaný drcením a tříděním SDO, který se nepovažuje za kamenivo ve smyslu norem ČSN. [5]

R – materiál (Ra) – Jedná se o materiál vzniklý rozdrčením krytových asfaltových vrstev pozemní komunikace. [5]

Asfaltová emulze – Emulze asfaltu a vody

Použité zkratky

SMA – Asfaltový koberec mastixový

SDO – Stavebně demoliční odpad

PK – Pozemní komunikace

RSM – recyklovaný stavební materiál

TDZ – Třída dopravního zatížení

ACO – Asfaltový beton pro ohrusné vrstvy

ACL – Asfaltový beton pro ložní vrstvy

ACP – Asfaltový beton pro podkladní vrstvy

ŠD – Štěrkodrt'

MZ – Mechanicky zpevněná zemina

MZK – Mechanicky zpevněné kamenivo

Seznam obrázků

Obr. 2.1 - symbol recyklace.....	19
Obr. 3.1 - Šaržová obalovna s přidání R-materiálu	22
Obr. 3.2 - Předehřívání R-materiálu].....	23
Obr. 3.3 - Kontinuální obalovna	24
Obr. 3.4 – R-materiál souběžně s proudem horkého vzduchu	24
Obr. 3.5 – R-materiál proti proudu horkého vzduchu	25
Obr. 3.6 - Separátní vysoušení R-materiálu	25
Obr. 3.7 - Doporučené užití recyklátů do silničního tělesa.....	28
Obr. 3.8 - Schéma výroby recyklátu	30
Obr. 4.1 - Rozehřívání vozovky pomocí infrazářiče.....	31
Obr. 4.2 – Reshape	32
Obr. 4.3 - Repave s okamžitým přidáním nové směsi.....	33
Obr. 4.4 - Repave s odděleným přidáním nové směsi	33
Obr. 4.5 - Schéma technologie remix.....	34
Obr. 4.6 - Recyklace za studena	37
Obr. 5.1 - Sešit programu MS Excel.....	40
Obr. 5.2 - Nastavení množství přidaného recyklátu	41
Obr. 5.3 - Spočtená úspora	41
Obr. 5.4 - Recyklace vozovky na místě.....	42
Obr. 5.5 - Recyklace za studena	42
Obr. 5.6 - D1-N- 1,	43
Obr. 5.7 - D1-N-3	44
Obr. 5.8 - Úspora při recyklaci za studena a za horka.....	44
Obr. 5.9 - D2-N-3	45

Seznam tabulek

Tabulka 1.1 – Spotřeba nerostných surovin připadající v na jednoho občana EU	13
Tabulka 1.2 - Přehled daní na kamenivo.....	17
Tabulka 3.1 - Množství R-materiálu při recyklaci za horka v centru	25
Tabulka 3.2 - Doporučené užití RSM podle zastoupeného základního materiálu	28
Tabulka 3.3 - Užití RSM do nestmelených vrstev.....	29
Tabulka 5.1 - Možné úspory u D1-N-1	43
Tabulka 5.2 - Možné úspory u D1-N-3	44
Tabulka 5.3 - Možné úspory u D2-N-3	45
Tabulka 7.1 - Porovnání výsledků	46